

УДК 637.143

Т.С. Ибрагимов, А.В. Чеботарь, А.Г. Новоселов**ПРОИЗВОДСТВО ЭТИЛОВОГО СПИРТА
В КОЖУХОТРУБНОМ СТРУЙНО-ИНЖЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ
ПО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СХЕМЕ**

Представлены результаты проведения трех основных технологических стадий производства этилового спирта: водно-тепловой обработки, осахаривания и сбраживания высококонцентрированного сусле в кожухотрубном струйно-инжекционном бродильном аппарате с применением низкотемпературной схемы разваривания крахмалсодержащего сырья. Изучены реологические характеристики водно-зерновых суспензий, а также влияние ферментных препаратов на снижение вязкости замесов.

Кожухотрубный струйно-инжекционный аппарат, водно-тепловая обработка, вязкость, ферменты, спирт.

Введение

Создание высокоэкономичного спиртового производства во многом зависит от эффективности применяемых технологических схем подготовки крахмалсодержащего сырья к сбраживанию, а также от его современного машинно-аппаратурного оснащения, реализующего эти процессы. Одним из направлений повышения эффективности спиртового производства является последовательное проведение процессов водно-тепловой и ферментной обработки зернового сырья, а также проведение процесса брожения в одном аппарате при высоких концентрациях сбраживаемых сахаров в сусле. Успешное решение этой задачи позволит существенно снизить капитальные затраты на создание нового производства и эксплуатационные затраты на единицу готовой продукции.

Традиционно технологические процессы механико-ферментативной обработки целлюлозно-крахмалсодержащего сырья и брожения проводят раздельно. Такое разделение процессов связано с тем, что процесс подготовки исходного сырья к осахариванию и, собственно, само осахаривание производятся при высоких температурах (120–140 °С) в условиях интенсивного механического или гидродинамического перемешивания, а процесс брожения – при умеренных температурах (30 °С) в условиях слабого перемешивания, обусловленного интенсивностью всплывания пузырьков углекислоты.

Существующие конструкции бродильных аппаратов не позволяют проводить эти процессы в одном аппарате последовательно. Тем не менее реализация этой задачи позволила бы значительно упростить машинно-аппаратурную схему производства спирта и существенно снизить капитальные затраты на создание новых производств, особенно цехов по переработке сахаросодержащих отходов производства на малых предприятиях.

Спиртовая отрасль является чрезвычайно материалоемкой. Материальные затраты составляют около 90 % от общих затрат на производство. На величину материалоемкости производства оказывают влияние физико-химические и структурно-механические свойства исходного растительного сырья и его качество.

Реализация поставленных задач неизбежно базируется на комплексном решении технологических и аппаратурных вопросов по всему производственному циклу – от формирования сырьевой базы и переработки до выхода готовой продукции и ее реализации.

В настоящее время в производстве этилового спирта из сырья растительного происхождения широко внедряется новая ресурс- и теплосберегающая аппаратурно-технологическая схема механико-ферментативной обработки сырья без использования пара повышенных параметров, которая обеспечивает:

- экономию топлива на 40 % за счет проведения процесса без разваривания;
- экономию зерна за счет увеличения выхода этилового спирта;
- значительное улучшение техники безопасности, так как ликвидируются аппараты, работающие под высоким давлением.

Основным отличием данной схемы подготовки сырья к брожению от традиционных схем является применение низкотемпературной обработки зернового сырья – холодное затирание. При использовании холодного затирания существенно экономится тепловая энергия. За счет низких температур снижается расход сырья, пара и воды на охлаждение, под воздействием ферментов масса хорошо разжижается, что позволяет поднять концентрацию сусле и, соответственно, спирта в бражке, снизить объем бродильных аппаратов и расход пара на перегонку, увеличить производительность труда.

За счет использования правильно подобранных ферментных препаратов и технологических режимов проведения процесса водно-тепловой обработки и осахаривания выход спирта из 1 тонны зерна может быть увеличен на 0,5–3 %.

Анализ известных технологических процессов показывает, что для их реализации необходимо иметь, как минимум, 8 аппаратов. В этих аппаратах последовательно проводится отдельно взятый процесс, обусловленный принятой технологией. Такие схемы экономически обоснованы для предприятий большой мощности. Однако для малых предприятий и предприятий, перерабатывающих зерно на муку и имеющих в ряде случаев бракованное сырье или отходы, требующие их утилизации, реализация этих

схем не выгодно. Это связано с большим количеством аппаратов, их обвязкой трубопроводами, необходимостью установки между ними перекачивающих насосов. В совокупности это приводит к большим капитальным затратам на приобретение и монтаж этого оборудования и неоправданным энергозатратам, связанным с необходимостью перекачивания сырья из аппарата в аппарат.

Проблема может быть решена, если проводить процесс водно-тепловой и ферментной обработки исходного сырья в одном аппарате, включая сюда и проведение процессов брожения. Однако проведение всех трех необходимых процессов в одном аппарате, включая брожение, до настоящего времени не представлялось возможным, что в первую очередь связано с отсутствием технической возможности проводить эти процессы в аппаратах известных конструкций. Это вызвано тем, что имеющееся технологическое оборудование разрабатывалось для проведения одного, вполне конкретного процесса и не могло быть использовано для другого. Поэтому приходилось выстраивать цепочку аппаратов в соответствии с проводимыми в них процессами, что делало схему производства достаточно сложной, энерго- и трудоемкой.

В данной статье нами рассмотрена принципиальная возможность проведения процесса водно-тепловой обработки, осахаривания и сбраживания высококонцентрированного зернового замеса из ячменя в кожухотрубном струйно-инжекционном броидильном аппарате (КСИБА) по низкотемпературной схеме разваривания. Температурный режим работы аппарата изображен на рис. 1.

Температурный режим работы аппарата

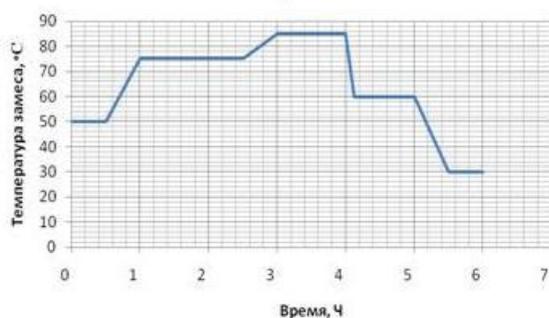


Рис. 1. Режим работы аппарата при проведении водно-тепловой обработки и осахаривания крахмалсодержащего сырья

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. На схеме: 1 – трехтрубная модель кожухотрубного струйно-инжекционного аппарата (КСИА); 2 – емкость-накопитель (Е-Н); 3 – циркуляционный насос; 4 – водоподогреватель; 5 – устройство для измерения расхода суспензии объемным способом; 6, 7 – газовые счетчики; 8, 9 – дифференциальные жидкостные манометры; 10 – циркуляционный насос на линии подачи теплоносителя; 11 – объемный счетчик для измерения расхода теплоносителя или хладоносителя; 12 – патрубок для осуществле-

ния подачи измельченного продукта и воды; t_k , t_{x1} , t_{x2} , t_{n1} , t_{n2} – датчики температуры.

Низкотемпературная схема разваривания зернового сырья предполагает ведение процесса водно-тепловой обработки при температурах ниже 100 °С и атмосферном давлении, в то время как стандартная технологическая схема производства спирта предусматривает ведение процесса при температуре 130–140 °С и избыточном давлении 2–3 атм [1].

Основной задачей данных исследований являлась разработка такого аппарата, который позволял бы проводить сразу несколько технологических стадий производства этилового спирта: водно-тепловую обработку крахмалсодержащего сырья, ферментный гидролиз, а также процесс сбраживания высококонцентрированного сула.

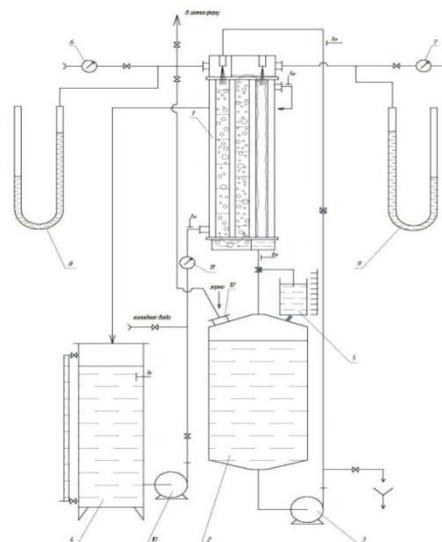


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

На сегодняшний день для осуществления вышеуказанных технологических процессов требуется оборудование, разработанное под каждый из перечисленных процессов. К такому оборудованию предъявляются особые требования, так как этого требуют высокие температуры и избыточное давление.

Создание аппарата, позволяющего проводить сразу несколько технологических стадий, а также разработка современной технологии ведения процесса водно-тепловой обработки при температурах ниже 100 °С [2] помогли бы решить ряд задач:

- сократить потребление энергии (электроэнергия, пар, топливо);
- избавиться от оборудования, работающего под избыточным давлением;
- сократить потребление воды на охлаждение и парообразование;
- снизить себестоимость готовой продукции;
- увеличить темпы производства.

Технологический процесс производства этилового спирта в КСИБА подробно описан в работе [3].

Одним из важных аспектов в повышении эффективности производства этилового спирта является технология сбраживания высококонцентрированного сула.

Под высококонцентрированным суслим понимается водно-зерновой замес, приготовленный из ячменя тонкого помола (100 % проход через сито 1 мм) и воды в соотношении 1:2,5. Однако одной из существенных проблем проведения стадии водно-тепловой обработки высококонцентрированного зернового замеса является резкое увеличение вязкости водно-зерновой суспензии, которое происходит в диапазоне температур 55–75 °С (рис. 3). Это связано с тем, что двухфазная смесь (вода – зерновые частицы) изменяет свои структурно-механические свойства ввиду начала процесса клейстеризации крахмала.

Изменение вязкости водно-зерновой суспензии в процессе ее нагрева

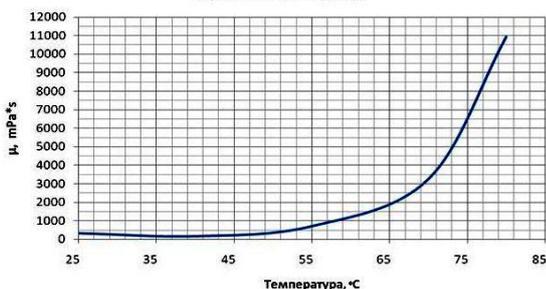


Рис. 3. Изменение вязкости водно-зерновой суспензии в процессе ее нагрева с 25 до 85 °С

В целях снижения вязкости суспензии применялись амилолитические ферментные препараты Дистицим БА-Т (2 едАС/гр крахм.) и Дистицим ХЛ (1 едКС/гр крахм.). Характер изменения вязкости в процессе ВТО и осахаривания показан на рис. 4.

Изменение вязкости замеса в процессе ВТО

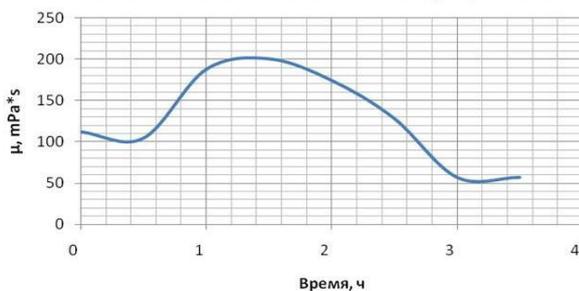


Рис. 4. Изменение коэффициента динамической вязкости μ зернового замеса из ячменя с гидромодулем 1:2,5 в процессе водно-тепловой обработки в КСИБА (окружная скорость сдвига 100 об/мин)

Одним из основных показателей эффективности работы аппарата при проведении процесса ВТО является изменение растворимых сухих веществ (%) во времени (рис. 5).

Изменение концентрации растворимых сухих веществ в сусле

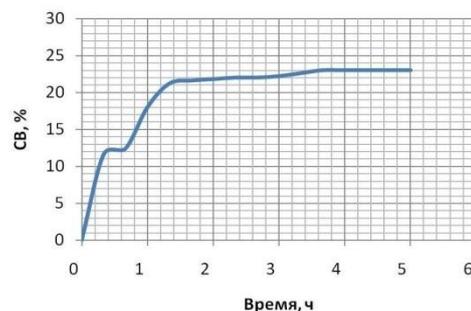


Рис. 5. Изменение концентрации растворимых сухих веществ в сусле во времени

Сбраживание полученного в КСИБА суслиа производилось в этом же аппарате путем незначительных манипуляций с запорной арматурой, позволяющей стравливать избыточное давление CO_2 .

Ряд проведенных экспериментов показал, что максимальное объемное содержание спирта в бражке достигается уже через 96 часов брожения (рис. 6).

Изменение концентрации спирта в бражке

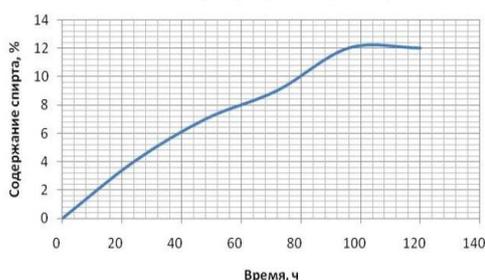


Рис. 6. Изменение содержания спирта в бражке при получении и сбраживании высококонцентрированного суслиа в КСИБА

Объекты и методы исследований

Определение массовой доли сбраживаемых углеводов производилось поляриметрическим методом на поляриметре СУ-3 (Россия).

Вязкость замесов определялась на вискозиметре VISCO Basci Plus R (Германия).

Результаты и их обсуждение

Проведенные эксперименты в кожухотрубном струйно-инжекционном бродильном аппарате (КСИБА) подтвердили теорию о возможности проведения трех основных технологических стадий производства спирта в одном аппарате без снижения основных технологических показателей. В результате исследований были изучены реологические характеристики водно-зерновых суспензий и влияние ферментных препаратов амилолитического действия на снижение вязкости замесов.

Список литературы

1. Устинов, Б.А. Производство спирта с использованием механико-ферментативной обработки зерна / Б.А. Устинов и др. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1989. – Сер. 24. – Вып. 4. – 32 с.
2. Сотников, В.А. Способ низкотемпературного разваривания крахмалистого сырья в производстве спирта / В.А. Сотников и др. // Производство спирта и ликеро-водочных изделий. – 2002. – № 1. – С. 13–16.
3. Ибрагимов Т.С., Баракова Н.В., Чеботарь А.В., Новоселов А.Г. Повышение эффективности производства спирта за счет проведения нескольких технологических стадий в одном аппарате 2. Проведение механико-ферментативной обработки зернового сырья в КСИБА // Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств» / ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». – 2011. – № 1.

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий»,
191002, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9.
Тел./факс: (812) 315-36-17
e-mail: refr@gunipt.spb.ru

SUMMARY

T.S. Ibragimov, A.V. Chebotar, A.G. Novoselov

**ETHANOL PRODUCTION WITH LOW TEMPERATURE TECHNOLOGY
IN SHELL-AND-TUBE JET INJECTION FERMENTER**

The results of the three main stages of ethanol production are presented: water-and-heat treatment, hydrolysis with enzymes and fermentation of high concentrated wort in shell-and-tube jet-injection fermenter using low-temperature cooking of starch-containing raw material. The rheological properties of water-grain suspensions and the influence of enzymes on the viscosity reduction are studied.

Shell-and-tube jet-injection fermenter, water-and-heat treatment, viscosity, enzymes, ethanol.

Saint-Petersburg state university of low temperatures and food technologies
9, Lomonosova street, St-Petersburg, 191002, Russia
Phone/Fax: +7 (812) 315-36-17
e-mail: refr@gunipt.spb.ru

